

特集/長距離・曲線推進に対応した滑材注入システムの動向を探る(PART-1)

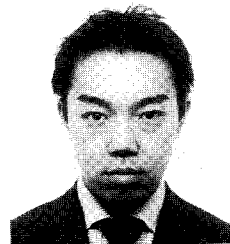
解説

長距離・曲線推進用滑材注入システムの解説

—アルティミット滑材充填システム「ULIS」—

中村 光伸

機動建設工業(株)
技術本部技術開発部開発課



1. はじめに

元押推進延長は、支圧壁の耐力及び推進管の許容耐荷力に達した時、限界地点となる。これ以上に推進を続ける場合は、推進力を分散させた中押し推進が必要となる。この他にも、曲線推進が加わると、曲線部において、推進管が曲線外側の掘削地山面と接触することにより、管外周面摩擦抵抗力が上昇し、推進力の増大に繋がり、長距離・曲線推進施工が難しくなる。

このように推進工事において、推進力が高くなると、様々な技術的・経済的問題が発生する。

推進力は、先端抵抗力(切羽圧+掘削力)と管外周面摩擦抵抗力(周面抵抗力)の総和である。

先端抵抗力は、工事開始から終了までの間は、地盤の変化により多少変動はあるものの、ほぼ一定である。これに対し周面抵抗力は、推進延長が長くなる程、地山との接触面積が大きくなり、これに比例して増加することになる。

推進力を分散させる方法として、中押し推進工法がある。また、周面抵抗力を低減させる方法としては、地盤改良による補助工法等がある。いずれにせよ、日進量の低下により施工期間が長くな

るという問題がある。

これらを改善するためには、推進管と地山との間(テールボイド)に良質な滑材を注入することで地山との接触面の摩擦抵抗力を低減することが、推進力の低減に最も有効であると言われている。

弊社の超長距離・超急曲線推進のアルティミット推進工法では、地中環境の保全と推進力を低減させるために、アルティミット滑材充填システム「ULIS」を確立している。

2. ULISの概要

滑材の注入により、推進力を低減させるためには、掘進機後部から発進坑口までのテールボイドに良質な滑材が満遍なく継続的に存在していなければならない。しかし滑材は、推進する地山が礫層など透水係数の高い地盤では、推進中に滑材が地中に浸透したり、塩分等が含まれる地下水では希釈・変性したりして、推進期間が長くなる程、その滑材効果は持続しにくくなる。

アルティミット滑材充填システム「ULIS」は、推進開始から終了までの間、必要最小限に確保したテールボイド全体に、滑材を効率的かつ満遍なく充填・維持・管理し、地中環境の保全と推進力

を低減するシステムである。

つまり、長距離・曲線推進に対して、

- 材料、装置、技術、管理を標準化する。
- 作業による滑材注入のばらつきをなくす。
- 管内での注入作業を省力化する。
- 推進管の周辺地中環境を保全する。
- 推進力の低減による施工コストダウンをはかる。
- 安全確実に推進する。

ことを目的とした推力低減システムである。

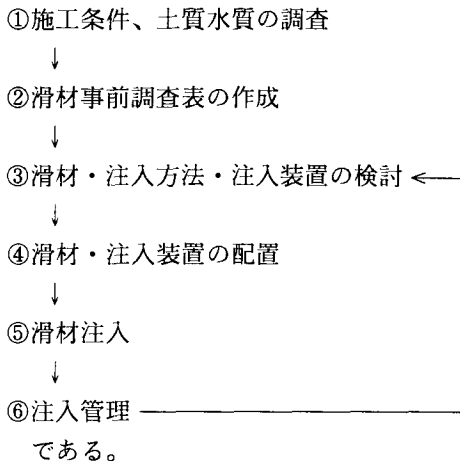
3. ULISの特長

- (1) 十分な施工事前調査(施工条件、土質、水質など)
- (2) 現場に合致した、滑材・注入装置・注入方法の最適選定。
- (3) 地中環境を保全しながら、コストパフォーマンスに富んだ、滑材注入。
- (4) 滑材注入、テールボイドの徹底管理。

4. ULISの構成

ULISは推進工事の準備から終了までの間、滑材注入をトータル管理するシステムである。

システムの流れは、



である。

施工現場でのULISは、

- (1) アルティミット工法用滑材
- (2) アルティミット工法用注入装置
- (3) 注入管理

の三要素で構成されている。それでは上記の各項目について説明する。

(1) アルティミット工法用滑材

近年の長距離・曲線推進による推進力の低減要望に応えるために、弊社では幅広い土質にも対応できる二種類の滑材を開発した。以下の滑材は、現場の地盤条件・施工条件により最適選定される。

①アルティーク

- ・分類：一液性粒状滑材
- ・外観：乳白色液状
- ・粘性：1,500mPa・s
- ・添加材：耐塩材、目詰材

アルティークは、高吸水性樹脂を主成分とした一液性粒状滑材である。高吸水性樹脂は、地盤の土粒子間を目詰させ、浸透を防止し、ベアリング作用で潤滑効果が働き、地山と推進管との間のせん断力を低減させる。

また、静止状態では流動化しにくく、逆にポンプなどにより外圧が加わると流動化するチキントロピー性を持つ滑材である。

対応土質は、シルト・砂地盤が中心だが、砂礫地盤にも使用される。

その際は、透水係数も高い地盤が想定され、滑材が地中に浸透するのを防止するため、アルティーク専用目詰材を添加し、後述の自動滑材注入装置等を使用して、一次注入以降の全テールボイドに滑材の再注入(追加注入)を行う。

②アルティークレイ

- ・分類：二液性混合滑材
- ・外観：灰色粘性体
- ・ゲルタイム：1～2秒程度
- ・粘性：15,000mPa・s

アルティークレイは二液性混合滑材で、管内をA材・B材別系統で圧送し、掘進機後部で、専用混合器でゲルさせテールボイドに充填する滑材である。ゲルしても固結はせず、非付着性超粘性体(15,000mPa・s)となる。

弊社所有の摩擦係数測定器においても、滑材未使用時と比べアルティークレイ使用時は84.4%の摩擦抵抗低減率であった。

アルティークレイの特長は、

- 超高粘性・低浸透性なので、透水係数の高い礫地盤に対応できる。

○ 耐イオン性に非常に優れているので、海水に長時間放置しても滑材性状は変化せず、工期の長い長距離推進工事においても一次注入のみで推進施工が可能である。

(3) アルティミット工法用滑材注入装置

ULISでは、アルティミット工法用滑材の注入装置として、

- ①自動滑材注入装置(二系統)
- ②自動滑材充填装置(一系統)
- ③アルティークレイ専用混合器がある。

①自動滑材注入装置(図-1)

滑材注入では、一次注入用の滑材とは別種(または、同一)の滑材を追加注入で使用する事がある。本装置は、追加注入専用の注入装置であり、注入は複数のバルブユニットで行う。

50mピッチに管内設置するのが標準であるが、設置間隔は現場の土質・施工条件等によって自在に設定できる。バルブユニットの制御はシーケンス制御で行なうので、装置全体は、コンパクト化

されている。

注入方法は、中央制御盤で注入箇所・注入時間・圧力設定を行なった後、先端部に設置したバルブユニットから発進坑口に向け順番に注入する。

注入サイクルは、一定時間注入後、バルブを切替えて、末端部まで注入を行ない先端に戻る。単独注入箇所の選択ができるので、曲線区間など周面抵抗力が上昇しやすい箇所を重点的に注入することもできる。

②自動滑材充填装置(図-2)(写真-1)

本装置は、自動滑材注入装置の後継型で、一次注入・追加注入を一系統で行なう。追加注入用のバルブユニットは、基本的に50mピッチで管内設置するが、追加注入の注入位置等は、現場の施工条件に合わせて設定できる。

バルブの切換えは、中央制御盤内にプログラムされたシーケンス制御で行い、滑材の計画注入量を過不足なくをテールボイドに充填させる。計画注入量は、地山の透水係数、テールボイドの大きさ、発進してから経過時間などから演算される。

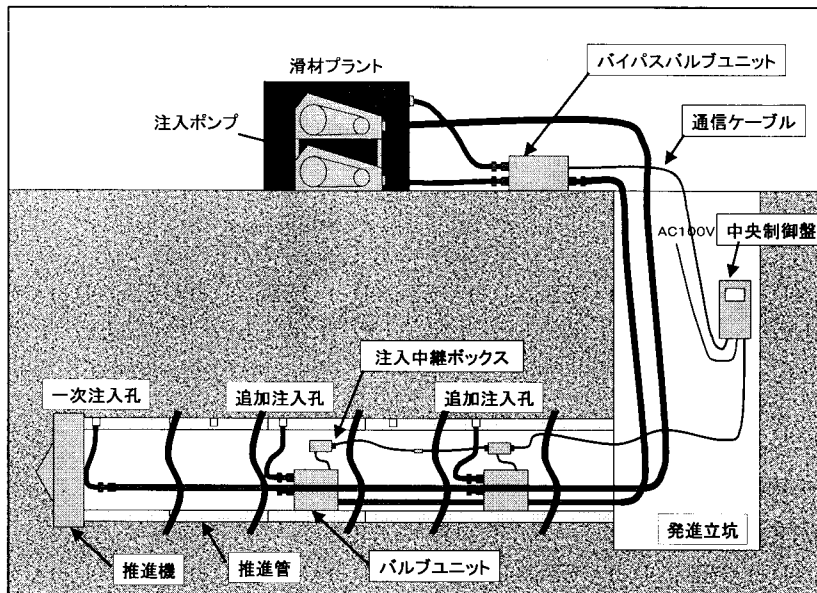


図-1 自動滑材注入装置

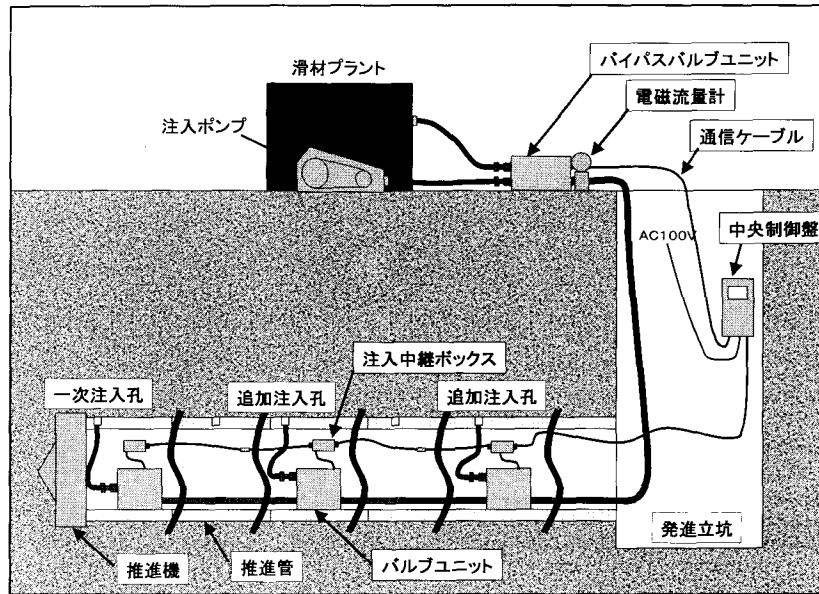


図-2 自動滑材充填装置

推進開始前に中央制御盤で、初期条件(一次注入量・追加注入量・推進速度など)を設定すると、バルブ切換時間が自動演算されるので、推進が終了するまで一次注入・追加注入を制御する。計画量が注入し終わると、自動的に注入が終了する。

また、中央制御盤において注入箇所を選択ができるので、曲線区間などに重点的に注入を行なえる。センサー類は、注入ポンプの吐出部に電磁流量計・圧力センサー、一次注入部に圧力センサーが設置されており、中央制御盤にて注入量・圧力管理が集中管理できるので、周辺地山を安定させ、路面への影響(噴出など)もなく、低推力で安全確実に推進することができる。

注入データは、推進管一本毎の一次注入量・追加注入量がメモリーカードに記録されるので、容易にパソコンに取り込み、データの管理・整理・プリントアウトが行なえる。

③アルティークレイ専用混合器

アルティークレイのA材とB材を地上で作液し、設定配合比率流量をA・B材別系統で、先端部(掘進機後方部)まで圧送し、注入孔直前で、両液を

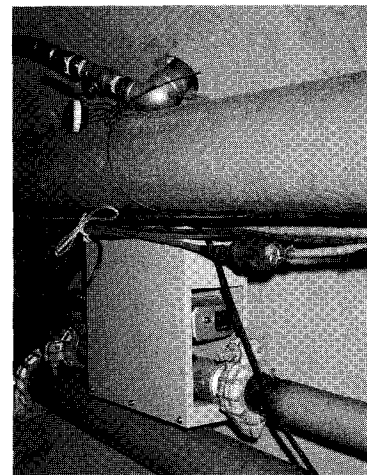


写真-1 自動滑材充填装置(バルブユニット)

本器で混合させ充填を行なう。本混合器の攪拌部の前後には圧力センサーが設置されており、注入圧力・ゲル状態の確認が行なえる。

(3) 注入管理

滑材注入は設計量を全テールポイドに充填するばかりでなく、その後のテールポイド内の状況を継続管理することが重要である。

ULISでは、テールボイドを管理するために、推進管のグラウトホールにテールボイド計測用弾性逆止弁(写真-2)を約50mピッチに設置し、テールボイド巾の計測、そこからサンプリングした滑材の性状確認を継続的に行なう。

性状確認は、粘性測定器で滑材の粘性を測定することで、劣化状況を確認する。地下水等により劣化していれば、追加注入量を再検討し、注入装置で補足注入したり、添加材を添加するなどの迅速な対応をし、事前に推進力の上昇を防止する。

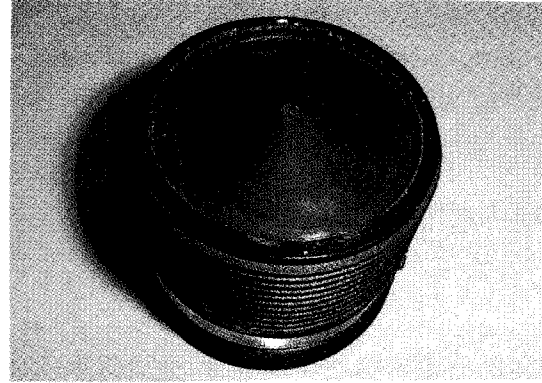


写真-2 テールボイド計測用弾性逆止弁

5. 施工実績

ULISは主に、

- ・推進延長が150m以上の推進工事
- ・地下水に塩分が含まれる地盤での推進工事に多

く採用される。

表-1にULISの推進延長別施工実績の内訳

表-1 施工実績の内訳件数

(平成11年6月～平成13年12月現在)

推進延長クラス別		100m未満	100m	200m	300m	400m	500m	600m	700m	800m	合計
滑 材	アルティ-K (件)	3	33	48	25	16	12	6	4	1	148
	アルティ-クレイ (件)	—	5	1	—	—	1	—	—	1	8
注入装置	自動滑材注入装置 (件)	—	5	19	15	12	5	—	1	—	57
	自動滑材充填装置 (件)	—	—	3	2	4	6	6	3	1	25
	アルティ-クレイ混合器 (件)	—	5	1	—	—	1	—	—	1	8

表-2 主な施工実績

(平成13年12月現在)

施工場所	管径 (mm)	延長 (m)	曲線半径 (m)	α 値 (%)	土質	N 値	土被り (m)	実績 推力 (kN)	設計 推力 (kN)	実推力/ 設計推力 (%)
愛知県	1350	752	—	—	砂質シルト	7	10	1470	5900	25
新潟県	2000	728	600R	0.33	砂	10	7.2	5880	11231	52
東京都	1200	681	水平:30R 縦断:300R	4.00	砂 砂質シルト	20	6~20	3920	4900	80
新潟県	1650	631	800R	0.20	砂	30	6.7~8.9	4312	7948	54
愛知県	2000	612	200R	1.00	砂	7	10	4479	8575	52
東京都	2200	603	58R	2.07	砂・粘土	30	9	7164	11966	60
高知県	1350	562	100R	1.35	砂礫	22	6.5	3293	3626	91
東京都	1500	560	15R	10.00	粘土(ローム)	15	2~5	3136	4292	73

※ α 値 = 管径 / 曲線半径 × 100

件数を示す。

また、アルティミット工法でULISを採用した推進工事の主な施工実績を表-2に示す。

表-2より、500m以上の長距離推進や、曲線半径に対する管径の比率 α 値(=管径/曲線半径 $\times 100$)が大きな急曲線推進(1.00%以上)でも、設計推進力に対する実推進力の比率は50~90%で、それ以外は、更に低い推進力で施工完了した。

6. おわりに

本稿では、アルティミット滑材充填システムU

LISを紹介したが、工事着工前の土質・水質の事前調査、推進中のテールボイド管理を確実にこなうことにより、推進力低減に大きな効果を発揮しているといえる。

実績データの推進力低減率からも、1,000m以上の超長距離推進工事も可能と思われる。

しかし、現状の結果に満足することなく、ULISの技術向上に努め、土質条件・推進力のデータを収集・分析することで、推進工事の推力低減に貢献していきたい。

